TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG • P.O. Box 81 05 51 • 30505 Hannover • Germany

TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG
Oddział w Polsce

ul. Kopanina 30a
60-105 Poznań
Polska

bwojtowicz@tuev-nord.de
www.tuev-nord.com

TÜV®

Raport z weryfikacji momentów krytycznych dokręcania śrub do kół samochodu osobowego, badań składu fazowego i chemicznego po wielokrotnym dokręceniu/odkręceniu

Raport opracowano na zlecenie:

Polskiego Związku Przemysłu Oponiarskiego (PZPO)

oraz

Volkswagen Group Polska

Eksperci przygotowujący raport:

dr hab. inż. Paweł Woś – profesor Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza

dr inż. Kamil Gancarczyk – adiunkt Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza

dr inż. Krzysztof Lew– adiunkt Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza

mgr inż. Marek Nytko – Biuro Rzeczoznawcze Auto-Test

1. Wprowadzenie

Raport powstał na podstawie badań doświadczalnych, przeprowadzonych w okresie od lipca do września 2026 roku na zlecenie Polskiego Związku Przemysłu Oponiarskiego (PZPO) oraz Volkswagen Group Polska (VGP). Raport został przygotowany przez TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG, badania przeprowadzone zostały przez Politechnikę Rzeszowską im. Ignacego Łukasiewicza, przy współpracy z Biurem Rzeczoznawczym Auto-Test mgr inż. Marek Nytko.

Badania podzielone zostały na cztery etapy:

- W pierwszym etapie przeprowadzono cztery próby badawcze, obejmujące po cztery śruby każda, gdzie 20-krotnie odkręcano i dokręcano śruby określonymi momentami dokręcania od 120-360 Nm (śruby zamienne) oraz od 120-270 Nm (śruby oryginalne). Śruby przekazano do badań laboratoryjnych.
- W piątej próbie weryfikowano moment krytyczny dokręcania śrub oryginalnych i zamiennych na nowych zestawach śrub.
- Kolejno przeprowadzono badanie składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej.
- Przeprowadzono badanie składu chemicznego śrub metodą spektroskopii emisyjnej.

2. Cel badania

Celem badań było określenie wpływu wielokrotnego dokręcania i odkręcania śrub mocujących koło (dostarczonych przez Zleceniodawcę - VGP) przy różnych wartościach momentu dokręcania, określenie momentu krytycznego dla badanych śrub oryginalnych i zamiennych oraz sprawdzenie zmian w geometrii i właściwościach mechanicznych śrub.

Dodatkowo celem było określenie różnic w składzie fazowym śrub, różnic w składzie chemicznym oraz wpływu stosowania nieprawidłowego momentu dokręcenia śruby na zmiany charakterystyki gwintu śruby i piasty koła.

3. Metodyka

3.1. Weryfikacja śrub w określonych momentach dokręcania [Nm]

Badania przeprowadzono na stanowisku stacjonarnym, na skompletowanym pojeździe, wyposażonym w nowe piasty. W badaniu zastosowano również nową felgę oraz nowe śruby oryginalne i zamienne dostarczone przez Zleceniodawcę - VGP. Badanie przeprowadzono na pojeździe marki Volkswagen.

Przeprowadzono cztery próby badawcze, obejmujące po 4 śruby oryginalne oraz po 4 śruby zamienne każda, poprzez 20-krotne odkręcanie i dokręcanie śrub momentem dokręcania od:

- 120 Nm.
- 180 Nm.
- 240 Nm.
- 360 Nm, wraz z ustaleniem momentu krytycznego, tj. wartości, przy której dochodzi do uszkodzenia śruby/piasty. Dla śrub oryginalnych moment krytyczny określono na poziomie 270 Nm, nie osiągnięto zakładanego progu 360 Nm.

Śruby, wykorzystane w czterech próbach badawczych, zostały przekazane do dalszych badań laboratoryjnych.

Dodatkowo została przeprowadzona piąta próba, na nowym zestawie śrub. Próba dotyczyła jednokrotnego dokręcania 4 śrub oryginalnych i 5 zamiennych z jednoczesnym poszukiwaniem momentu krytycznego prowadzącego do uszkodzenia badanego elementu.

Wykorzystano dwie nowe piasty o numerze F-572599 pasujące m.in. do pojazdów marki:

- AUDI (A3, Q2, Q3, TT)
- SEAT (ATECA, LEON, TARRACO)
- SKODA (KAROQ, KODIAQ, OCTAVIA III, SUPERB III)
- VW (ARTEON, GOLF VII, PASSAT, TIGUAN, TOURAN, T-ROC).

Próby wykonywano z użyciem skalibrowanego klucza dynamometrycznego. Model klucza 647G6250, numer seryjny: QCOK250052

W badaniu wykorzystano śruby dostarczone przez jednego ze Zleceniodawców – VGP, badano śruby oryginalne Volkswagen, oraz śruby zamienne nieznanego producenta, na opakowaniu nie widniały informacje o producencie. Śruby nie były smarowane przed dokręcaniem. Badane śruby mogą być używane w pojazdach:

- AUDI (100, 200, 80, 90, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, C5, B2, B3, Q2, QUATTRO, TT, V8)
- BENTLEY (CONTINENTAL)
- CUPRA (ATECA, FORMENTOR, LEON, TERRAMAR)
- FORD (TOURNEO CONNECT / GRAND TOURNEO CONNECT, TRANSIT CONNECT)
- SEAT (ALHAMBRA, ALTEA, ARONA, ATECA, CORDOBA, EXEO, IBIZA, LEON, TARRACO, TOLEDO)
- SKODA (FABIA, KAMIQ, KAROQ, KODIAQ, KUSHAQ, OCTAVIA, RAPID, ROOMSTER, SCALA, SLAVIA, SUPERB, YETI)
- VW (AMEO, ARTEON, BEETLE, BORA, CADDY, CC, CORRADO, EOS, FOX, GOLF ALLTRACK VIII, GOLF III, GOLF IV, GOLF PLUS V, GOLF

SPORTSVAN VII, GOLF Van, GOLF VI, GOLF VII, GOLF VIII, GOLF V, JETTA CITY, JETTA III, JETTA IV, JETTA VII, LUPO II, NEW BEETLE, NIVUS, PASSAT, POLO IV, POLO V, POLO VI, POLO VIVO, SANTANA, SCIROCCO, SHARAN, SPACEFOX / SPACE CROSS, TAIGO, TAIGUN, TAOS, TAYRON, T-CROSS, TERA, TIGUAN, TOURAN, T-ROC, VENTO, VIRTUS).

Parametry śruby: M14x1,5, powłoka: ocynk, typ osadzenia: kuliste.

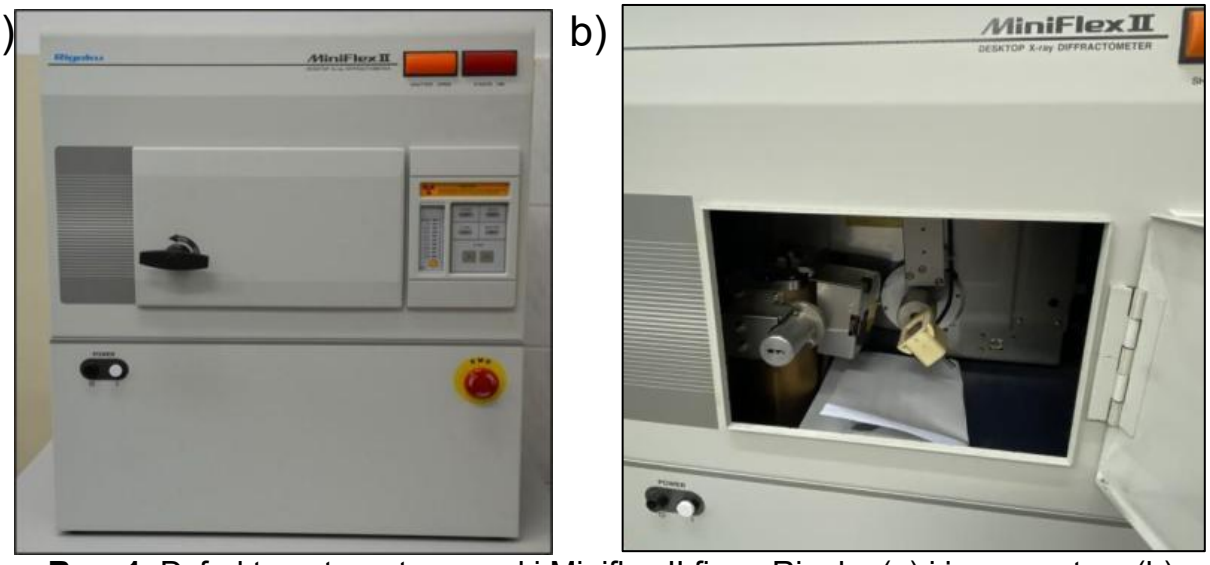
3.2. Poszukiwanie momentu krytycznego dokręcanych śrub oryginalnych i zamiennych, przy wykorzystaniu nowych nieużywanych śrub

Określenie momentu krytycznego nastąpiło w toku dokręcania śrub przy zwiększonym obciążeniu względem wartości założonej jako początkowa tj. 120 Nm, z wykorzystaniem klucza dynamometrycznego. Pomiar długości śrub wykonano skalibrowaną suwmiarką elektroniczną model MN-85-100. Wykorzystano 4 nowe śruby oryginalne i 5 nowych śrub zamiennych.

3.3. Badania składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej

Badania składu fazowego śrub prowadzono z użyciem dyfraktometru rentgenowskiego Miniflex II firmy Rigaku (rys. 1). Dyfraktogramy rentgenowskie wykonano z zastosowaniem filtrowanego promieniowania rentgenowskiego lampy Cukα1 λ = 0,154 nm w geometrii dyfrakcji Bragg-Brentano. Dobrano parametry do otrzymania dyfraktogramów; zakres kątowy dyfraktogramu 2θ = 20-80°, krok kątowy 2θ = 0.02°, czas zliczania na jeden krok kątowy t = 1s.

a) b)

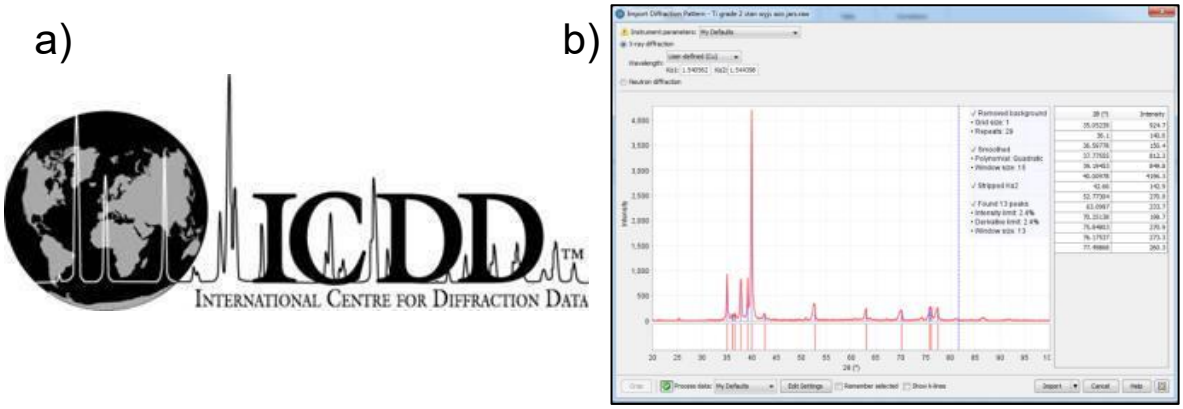


Rys. 1. Dyfraktometr rentgenowski Miniflex II firmy Rigaku (a) i jego wnętrze (b)

Skład fazowy śrub określono z użyciem komputerowej bazy danych dyfrakcyjnych PDF (Powder Diffraction File 2026) opracowanej i wydawanej

przez ICDD (The International Centre For Diffraction Data). Identyfikacja fazowa polegała na dopasowaniu mierzonego dyfraktogramu według obliczonych odległości między płaszczyznami dhkl dla poszczególnych refleksów oraz ich intensywności do danych zawartych w bazie ICDD (rys. 2).

a) b)



Rys. 2. Logo bazy danych ICDD (a) i zrzut ekranu na przykładową analizę składu fazowego (b)

Dyfraktogramy rentgenowskie wykonano z powierzchni 16 śrub. Wykonano także analizę z przekroju wewnętrznego śruby dla nowej i zamiennej.

Ze względu na ograniczone wymiary próbek analizowanych w dyfraktometrze, każda śruba do badania składu fazowego została przecięta jak na rysunku 3. Następnie każdą śrubę zamocowano w uchwycie zgodnie z rysunkiem 4 i wykonywano dyfraktogramy rentgenowskie. Promieniowanie rentgenowskie oddziaływało na głębokość ok. 20µm wewnątrz śruby od powierzchni.



Rys. 3. Śruby przyjęte do analizy składu fazowego



Rys. 4. Śruba do wykonania dyfraktogramu w dyfraktometrze rentgenowskim

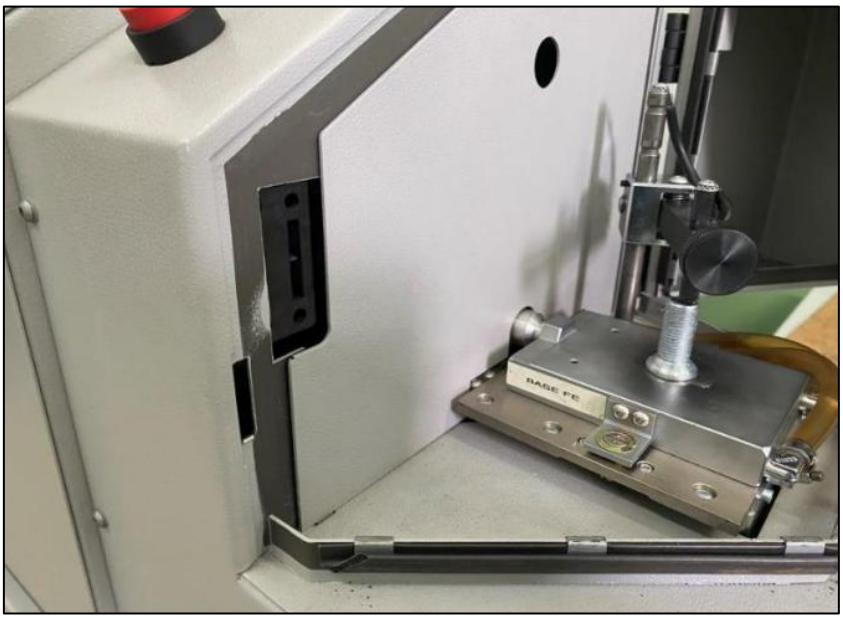
Wynik z powierzchni próbek odnosi się w dużym stopniu do warstwy powierzchniowej /powłoki cynkowej.

3.4. Badania składu chemicznego metodą spektroskopii emisyjnej

Analizę składu chemicznego śrub prowadzono z użyciem spektrometru iskrowego ARL 3460, wyposażonego w linie spektrometryczne oraz wzorce do określania składu chemicznego stali (rys. 5). Metoda spektroskopii emisyjnej ze wzbudzeniem iskrowym umożliwia precyzyjne określenie pierwiastków Fe, C, Si, S, P, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Cu, W, Ti, Co, Al, Nb i Mg. Pomiary składu chemicznego prowadzono na przekroju śrub. Wykonano analizę dla 3 śrub oryginalnych i 3 zamiennych.



Rys. 5. Spektrometr iskrowy ARL 3460



Rys. 6. Śruba przyjęta do analizy składu chemicznego z użyciem spektrometru iskrowego ARL 3460



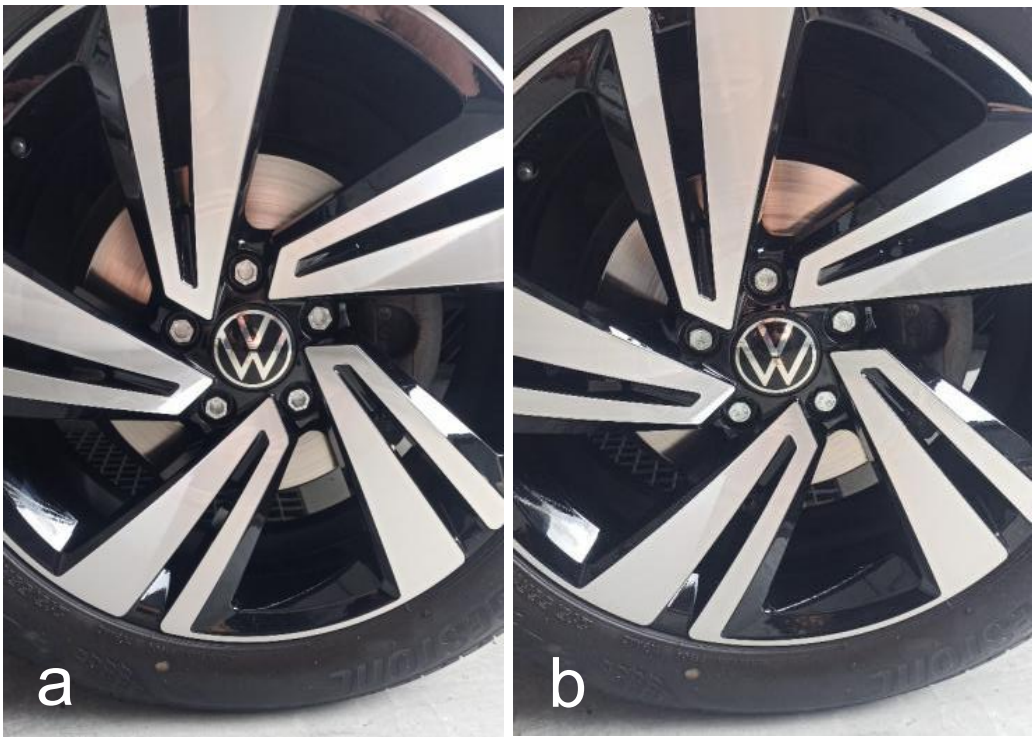
Rys. 7. Śruba po analizie składu chemicznego z użyciem spektrometru iskrowego ARL 3460. Widoczny ślad po działaniu iskry elektrycznej

4. Wyniki

4.1. Weryfikacja śrub w określonych momentach dokręcania [Nm]

Przeprowadzono cztery próby badawcze, obejmujące po 4 śruby oryginalne oraz po 4 śruby zamienne każda, 20-krotne odkręcanie i dokręcanie śrub momentem dokręcania: 120 Nm, 180 Nm, 240 Nm, 360 Nm.

Metodyka testów zakładała wykonanie prób przy czterech określonych momentach dokręcania dla obu rodzajów śrub, jednakże dla śrub oryginalnych określono moment krytyczny przy niższej wartości tj. 270 Nm, próbę przerwano po osiągnięciu momentu krytycznego, nie kontynuowano próby dla 360 Nm.



Rys. 8. Widok śrub zamontowanych na kole a – oryginalne, b – zamienne

Dla uzyskania dokładnej wartości momentów dokręcania śrub, użyto skalibrowanego klucza dynamometrycznego.

Tab. 1. Zastosowane momenty dokręcenia śrub [Nm]

Lp.	Moment dokręcenia [Nm]	
	Śruby oryginalne	Śruby zamienne
1	120	120
2	180	180
3	240	240
4	270	360

Dla śrub oryginalnych określono moment krytyczny przy wartości 270 Nm, nie wykonywano dodatkowej próby dla 360 Nm. Metodyka badań nie uwzględniała pomiarów długości śrub.



Zastosowanie momentu 120 Nm



Zastosowanie momentu 180 Nm



Zastosowanie momentu 240 Nm



Moment krytyczny 270 Nm

Rys. 9. Momenty dokręcania śrub oryginalnych



Zastosowanie momentu 120 Nm



Zastosowanie momentu 180 Nm



Zastosowanie momentu 240 Nm



Zastosowanie momentu 360 Nm

Rys. 10. Momenty dokręcania śrub zamiennych

Dokonano weryfikacji wizualnej stanu śrub, w przypadkach dokręcania z momentem 120 Nm,180 Nm, 240 Nm nie zaobserwowano zmian w wyglądzie śruby. Sprawdzono także stan piasty koła, wykonano ponowne próby wkręcenia nowej nieuszkodzonej śruby, na tej podstawie stwierdzono, że nie doszło do uszkodzenia piasty. Śruby poddawane weryfikacji przekazano do dalszych badań laboratoryjnych, opisanych w punktach 4.4 i 4.5.

4.2. Poszukiwanie momentu krytycznego podczas dokręcania śrub oryginalnych, przy wykorzystaniu nowych nieużywanych śrub

Podczas badania określono moment krytyczny, w toku dokręcania śrub przy zwiększonym obciążeniu względem wartości założonej jako początkowa tj. 120 Nm. Prowadzono stopniowe zwiększanie momentu podczas pierwszego dokręcania aż do wystąpienia uszkodzenia badanego elementu. Moment krytyczny należy rozumieć jako wartość, przy której nastąpiło uszkodzenie lub zerwanie badanego elementu uniemożliwiające jego dalszą prawidłową pracę. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono zastosowane momenty oraz widok poglądowy śrub, wskazujący na ich wydłużenie.



Zastosowanie momentu 268,5 Nm



Widok śruby dla momentu 268,5 Nm



Zastosowanie momentu 270 Nm



Widok śruby dla momentu 270 Nm

Rys. 11. Dokręcanie śrub z jednoczesnym poszukiwaniem momentu krytycznego prowadzącego do zniszczenia dla śrub oryginalnych



Zastosowanie momentu 264,4 Nm



Widok śruby dla momentu 264,4 Nm



Zastosowanie momentu 267,9 Nm



Widok śruby dla momentu 267,9 Nm

Rys. 12. Dokręcanie śrub z jednoczesnym poszukiwaniem momentu krytycznego prowadzącego do zniszczenia dla śrub oryginalnych

W tabeli nr 2 zamieszczono podsumowanie z wyników uzyskanych podczas próby określenia momentu krytycznego dla oryginalnych śrub.

Tab. 2. Określenie momentu krytycznego dokręcenia śrub oryginalnych [Nm]

Lp.	Rodzaj śrub	Moment dokręcenia [Nm]
1	oryginalna	270
2	oryginalna	268,5
3	oryginalna	267,9
4	oryginalna	264,4

Moment krytyczny dla śrub oryginalnych wynosił 264,4–270 Nm, a następnie zaobserwowano ich trwałe rozciągnięcie. Dokonano weryfikacji piasty oraz wykonano ponowne próby wkręcenia nowej nieuszkodzonej śruby, na tej podstawie nie stwierdzono uszkodzenia piasty. Wykonano pomiar długości nowych oryginalnych śrub, na tej podstawie określono, że długość śruby wzorcowej wynosi 47,6 mm.

W celu zweryfikowania parametrów technicznych śrub dokonano pomiaru długości badanych śrub oryginalnych dla wszystkich momentów krytycznych. Do badania wykorzystano nowe śruby oryginalne, które nie były wcześniej poddawane testom.

Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Określenie długości śrub oryginalnych względem momentów krytycznych [mm]

Lp.	Moment dokręcenia [Nm]	Pomiar długości [mm]	Różnica w długości śrub, względem nowej śruby [mm]
1	Śruba nowa wzorcowa	47,6	-
2	270	48,36	0,76
3	268,5	48,73	1,13
4	267,9	48,98	1,38
5	264,4	49,23	1,63

Śruby oryginalne po osiągnięciu momentu krytycznego, podczas dokręcania, uległy uszkodzeniu, czego wynikiem było ich nadmierne rozciągnięcie od 0,76 do 1,63 mm.

Uzyskane wyniki zobrazowano na rysunkach 13-15.



Rys. 13. Pomiar śruby nowej wzorcowej oryginalnej



Długość śruby dla momentu 270 Nm



Długość śruby dla momentu 268,5 Nm

Rys. 14. Pomiar śrub dla określonych momentów dokręcenia



Długość śruby dla momentu 267,9 Nm



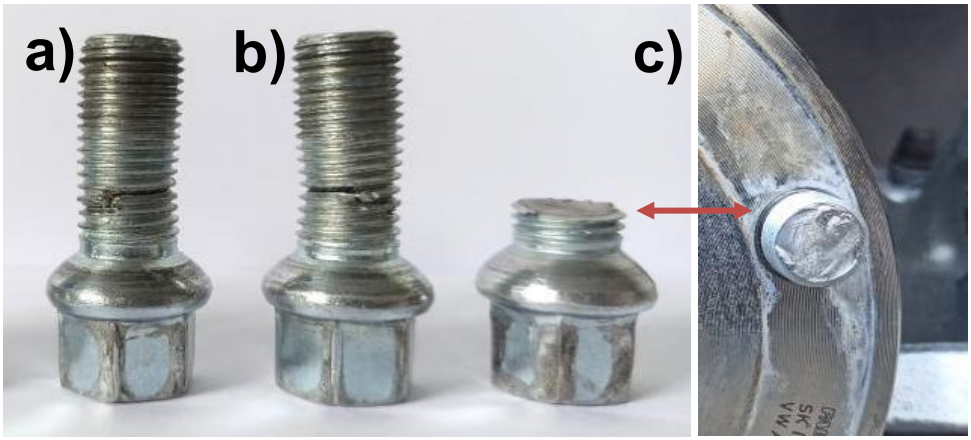
Długość śruby dla momentu 264,4 Nm

Rys. 15. Pomiar śrub dla określonych momentów dokręcenia

Pomiary świadczą o tym, że po przekroczeniu momentu krytycznego, właściwości śruby ulegają zmianie. Pod wpływem zbyt dużego momentu dokręcania śruba trwale się wyciąga (deformuje). Po odkręceniu nie wraca już do swojego pierwotnego kształtu. Taka śruba straciła swoje pierwotne właściwości fizyczne i nie jest już w stanie bezpiecznie utrzymać koła.

4.3. Poszukiwanie momentu krytycznego podczas dokręcania śrub zamiennych

Przeprowadzono próbę polegającą na zastosowaniu nadmiernego momentu dokręcania dla pięciu śrub zamiennych. W wyniku badania doszło do zerwania trzech śrub, co przedstawia rysunek nr 16, oraz do spowodowania uszkodzenia zarówno gwintu wewnętrznego piasty koła, jak również zewnętrznego gwintu śruby zamiennej w dwóch przypadkach, co przedstawia rysunek nr 18.



Rys. 16. Widok zerwanych śrub zamiennych a) moment krytyczny 441,4 Nm, b) moment krytyczny 481,7 Nm, c) moment krytyczny 506 Nm



Zastosowanie momentu 441,4 Nm



Widok śruby dla momentu 441,4 Nm



Zastosowanie momentu 481,7 Nm



Widok śruby dla momentu 481,7 Nm



Zastosowanie momentu 506 Nm



Widok śruby dla momentu 506 Nm

Rys. 17. Dokręcanie śrub z jednoczesnym poszukiwaniem momentu krytycznego prowadzącego do zniszczenia dla śrub zamiennych



Rys. 18. Widok uszkodzonych gwintów śrub zamiennych



Zastosowanie momentu 455,3 Nm



Widok śruby dla momentu 455,3 Nm

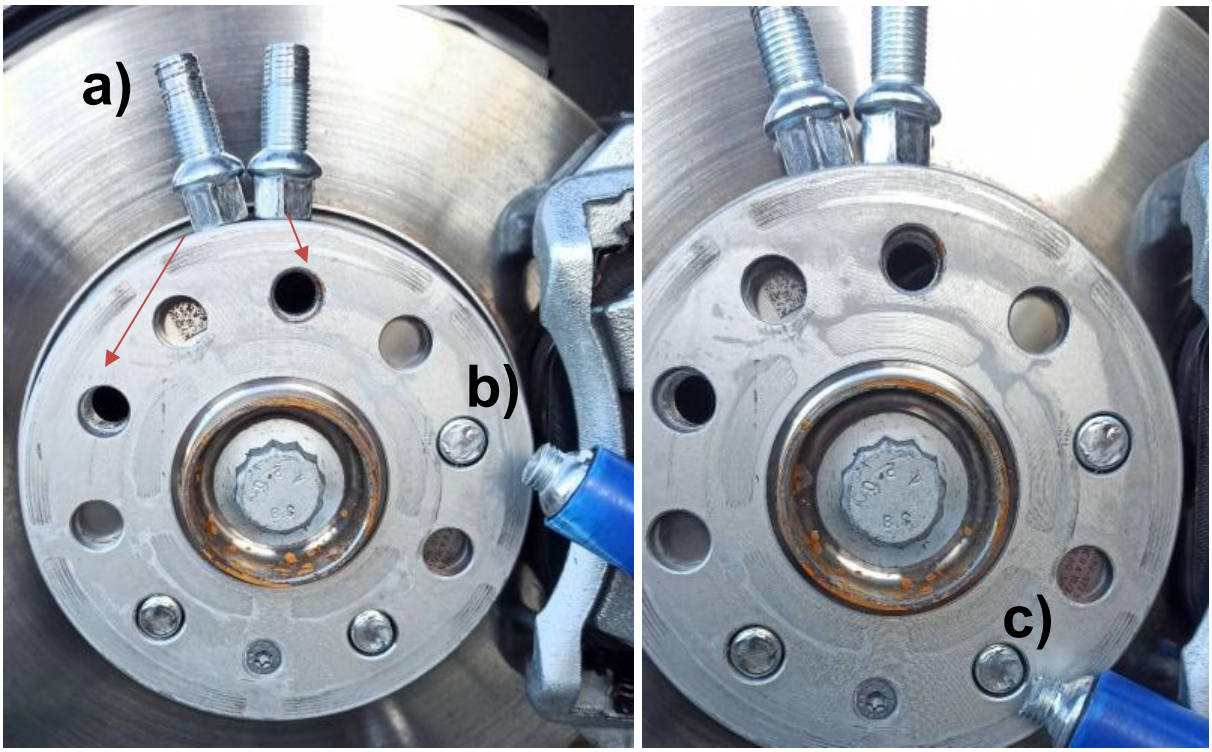


Zastosowanie momentu 437,9 Nm

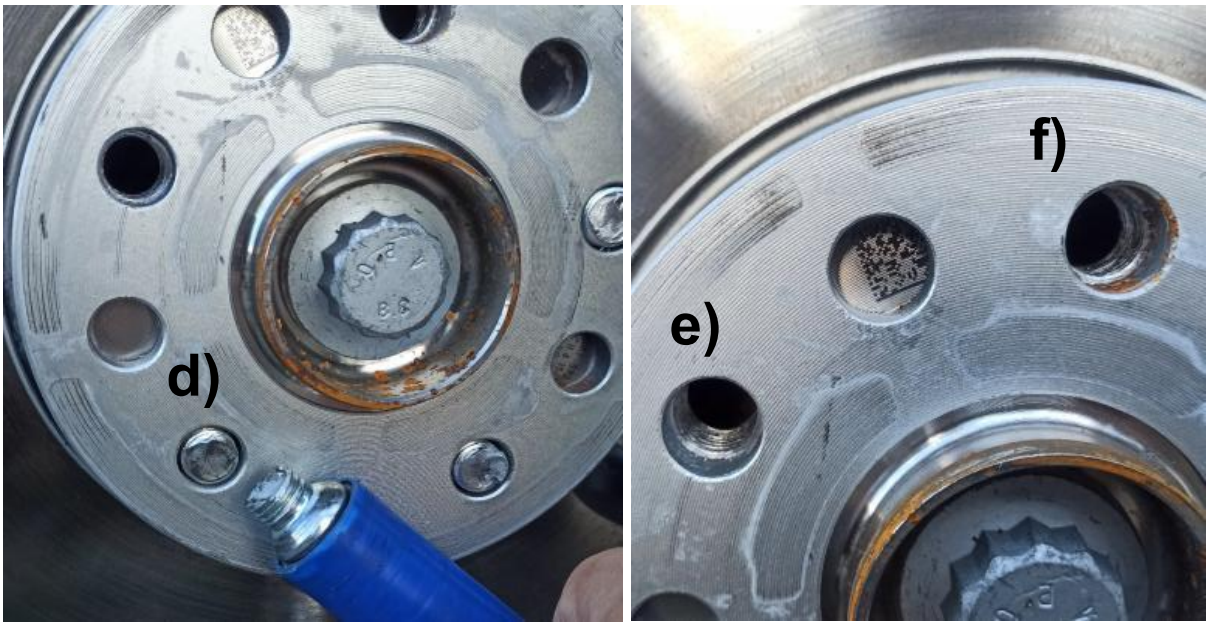


Widok śruby dla momentu 437,9 Nm

Rys. 19. Dokręcanie śrub z jednoczesnym poszukiwaniem momentu krytycznego prowadzącego do zniszczenia dla śrub zamiennych



Rys. 20. Widok śrub w piaście koła a) dwie śruby z uszkodzonym gwintem, b) śruba zerwana przy momencie dokręcenia 506 Nm, c) śruba zerwana przy momencie 441,4 Nm



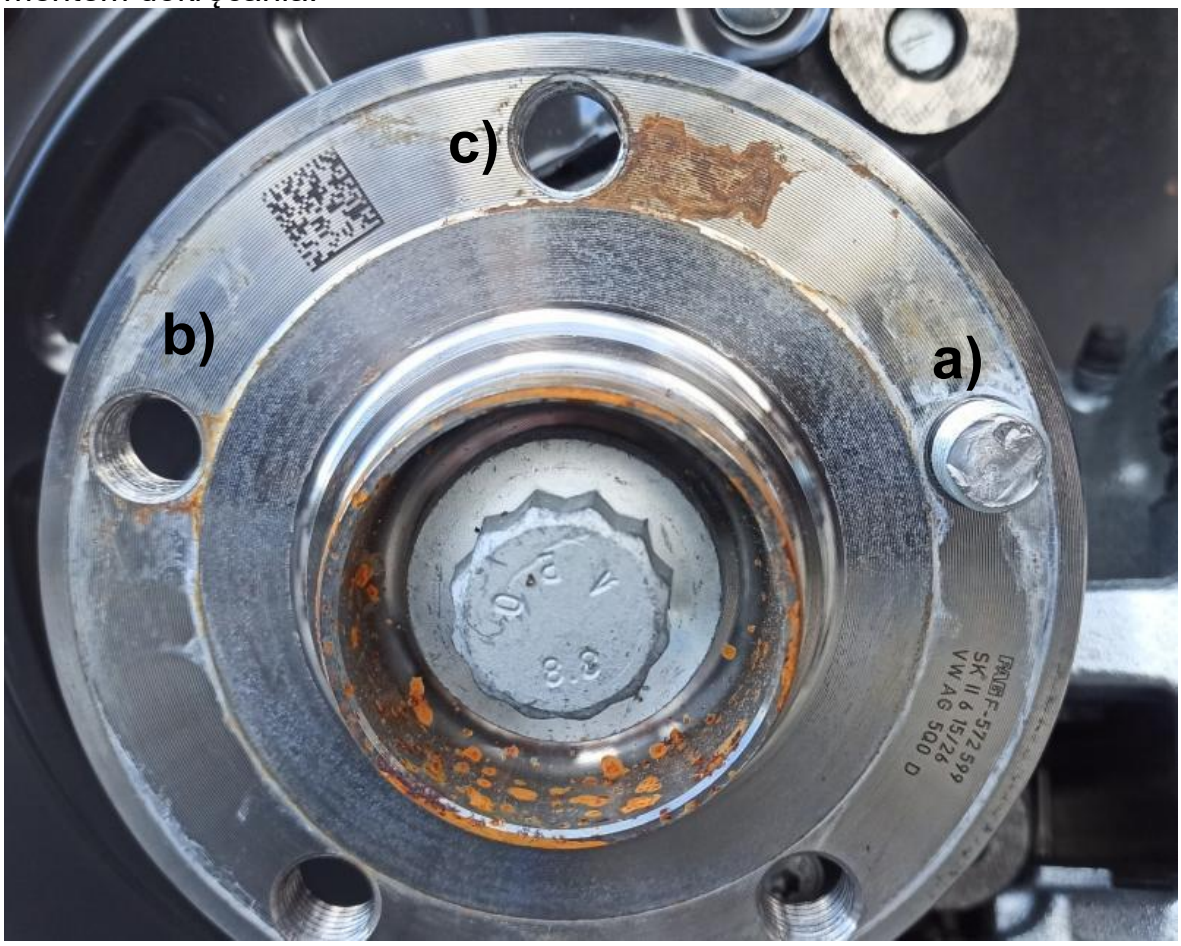
Rys. 21. Widok śrub w piaście koła d) śruba zerwana przy momencie dokręcenia 481,7 Nm, e) i f) widok powierzchni uszkodzonych gwintów

W przypadku zerwania śrub w jednym z przypadków doszło do zapieczenia trzonka śruby w piaście (rys. 20 b), co skutkowało brakiem możliwości jego

wykręcenia, w dwóch pozostałych przypadkach pęknięte trzonki udało się wykręcić (rys. 20 c i rys. 21 d).

Podczas późniejszej próby wykręcenia śruby zaobserwowano wyrwanie materiału zwoju gwintu wewnętrznego piasty (rys. 22 a). Fragmenty materiału gwintu zostały wyciągnięte wraz ze śrubą, powodując utratę geometrii gwintu w otworze piasty. Charakter uszkodzenia wskazuje na wystąpienie mechanizmu zniszczenia połączenia gwintowego w następstwie przeciążenia. W przypadku połączeń tego typu, nadmierny moment dokręcania może prowadzić zarówno do trwałego odkształcenia elementu gwintowanego, jak i do zerwania lub wyrwania zwojów gwintu. Dokumentacja techniczna dotycząca kontroli elementów mocowania kół również wskazuje na możliwość wystąpienia uszkodzeń gwintu w wyniku nadmiernego obciążenia.

Zaobserwowane uszkodzenie należy traktować jako uszkodzenie mechaniczne połączenia gwintowego powstałe w warunkach przeciążenia momentem dokręcania.



Rys. 22. Widok a) zerwanej śruby, b) i c) uszkodzeń gwintów piasty

Tab. 4. Określenie momentu krytycznego dokręcenia śrub zamiennych [Nm]

Lp.	Rodzaj śrub	Moment dokręcenia [Nm]
1	Zamienna	506
2	Zamienna	481,7
3	Zamienna	455,3
4	Zamienna	441,4
5	Zamienna	437,9

W celu zweryfikowania parametrów technicznych śrub dokonano pomiaru długości dwóch niezerwanych śrub zamiennych dla danych momentów krytycznych, a także uwzględniono wynik dla nowej śruby zamiennej, która nie podlegała badaniom, nie była ona również wcześniej używana. Wyniki zestawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Określenie długości śrub zamiennych względem momentów krytycznych [mm]

Lp.	Rodzaj śrub	Pomiar długości [mm]	Różnica w długości śrub, względem nowej śruby [mm]
1	Śruba nowa wzorcowa	47,95	-
2	Śruba zamienna – moment dokręcenia 455,3 Nm	48,17	0,22
3	Śruba zamienna – moment dokręcenia 437,9 Nm	48,22	0,27

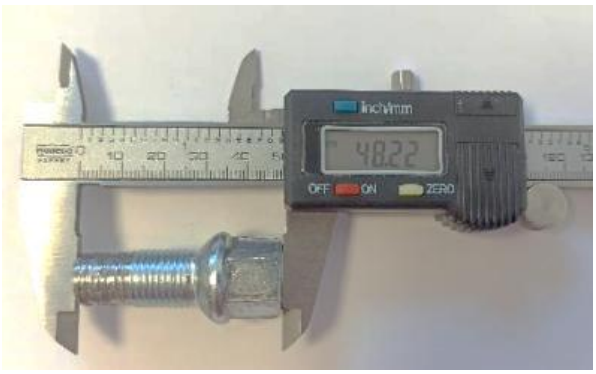
W 2 przypadkach doszło do uszkodzenia gwintu zewnętrznego oraz nadmiernego rozciągnięcia śrub od 0,22 do 0,27 mm. Uzyskane wyniki zobrazowano na rysunku 23 i 24.



Rys. 23. Pomiar śruby nowej wzorcowej zamiennej



Długość śruby dla momentu 455,3 Nm



Długość śruby dla momentu 437,9 Nm

Rys. 24. Pomiar śrub dla określonych momentów dokręcenia

Pomiary świadczą o tym, że po przekroczeniu momentu krytycznego, właściwości śruby ulegają zmianie. Pod wpływem zbyt dużego momentu dokręcania śruba trwale się rozciąga (deformuje), a gwint śruby ulega uszkodzeniu.

4.4. Badania składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej

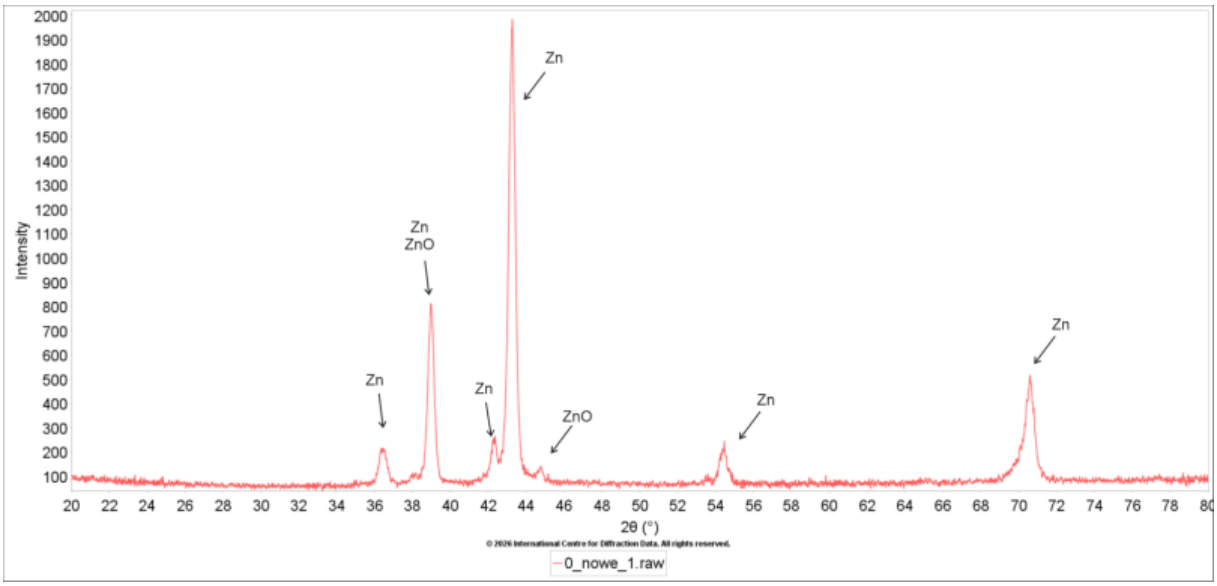
Dyfraktogramy rentgenowskie wykonano z powierzchni 16 śrub. Wykonano także analizę z przekroju wewnętrznego śruby dla nowej i zamiennej. Przyjęto do analizy śruby według oznaczeń:

- Nowa a
- Nowa b
- Oryginalna 120Nm - a
- Oryginalna 120Nm – b
- Oryginalna 180Nm – a
- Oryginalna 180Nm – b
- Oryginalna 240Nm – a
- Oryginalna 240Nm – b
- Zamienna 120Nm – a
- Zamienna 120Nm – b
- Zamienna 180Nm – a
- Zamienna 180Nm – b
- Zamienna 240Nm – a
- Zamienna 240Nm – b
- Zamienna 360Nm – a
- Zamienna 360Nm – b

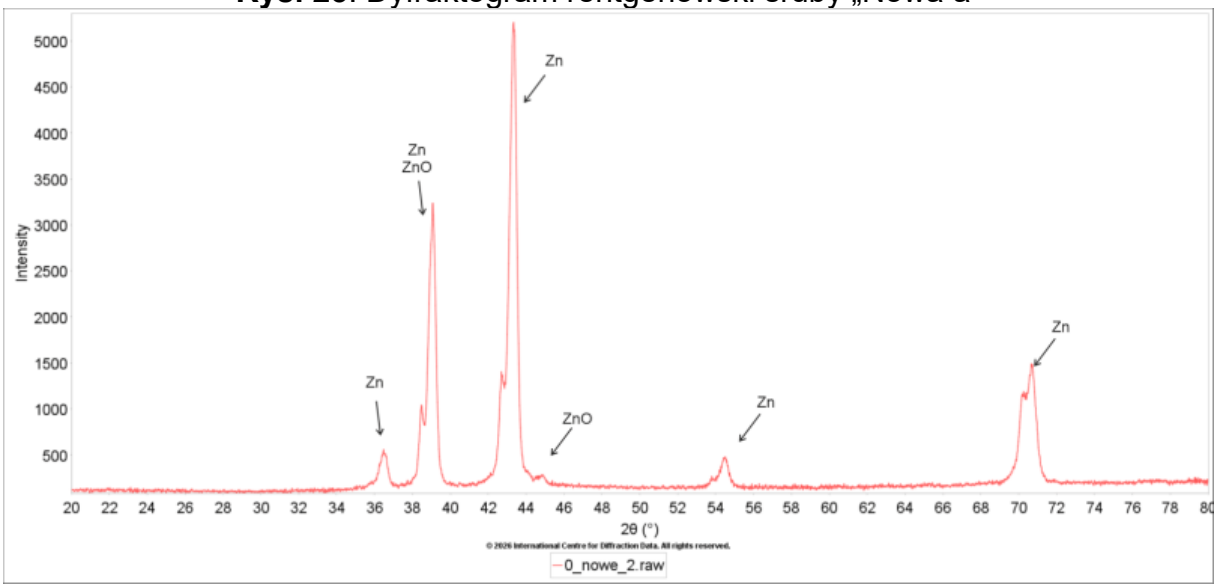
Dyfraktogramy rentgenowskie z powierzchni śrub przedstawiono na rysunkach 25-40. Stwierdzono w każdej z powierzchni śrub występowanie

roztworu stałego cynku (Zn) – karty danych dyfrakcji 01-082-9644 i 04-028-2410 oraz tlenku ZnO - 04-022-7688.

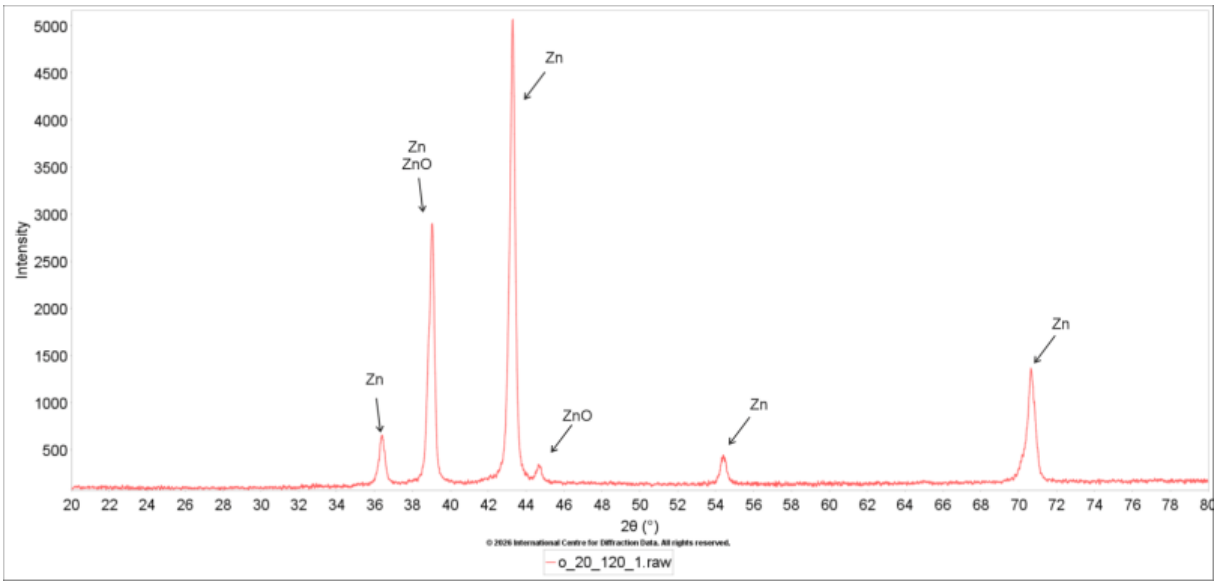
Nie stwierdzono różnic w składzie fazowym śrub zarówno jeśli chodzi o porównanie oryginalnych z zamiennikami jak porównanie ich momentów dokręcania.



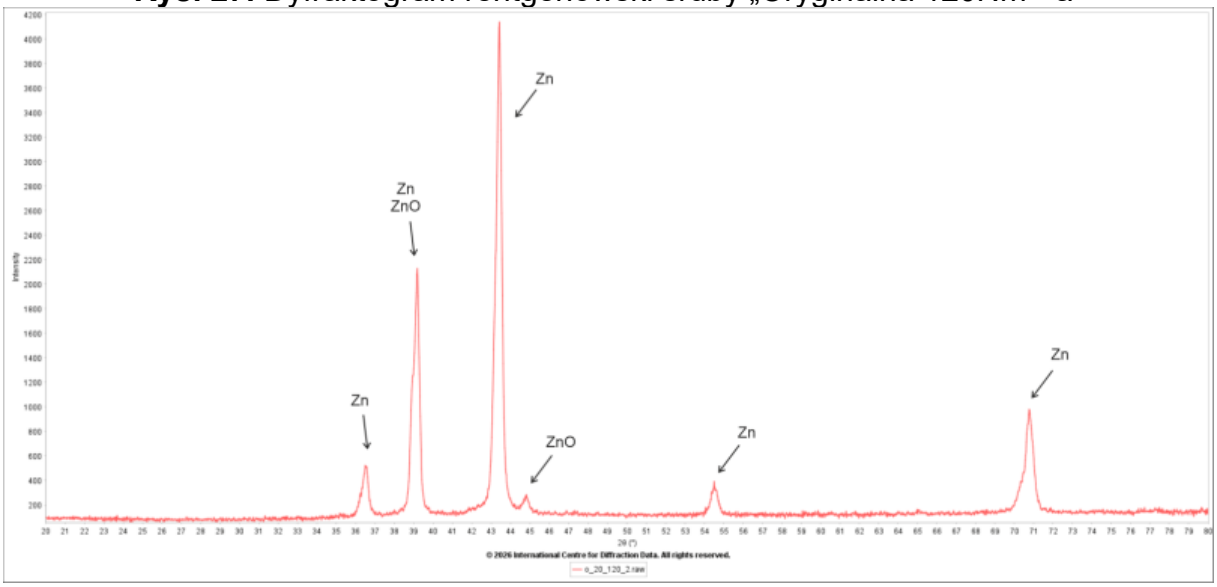
Rys. 25. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Nowa a”



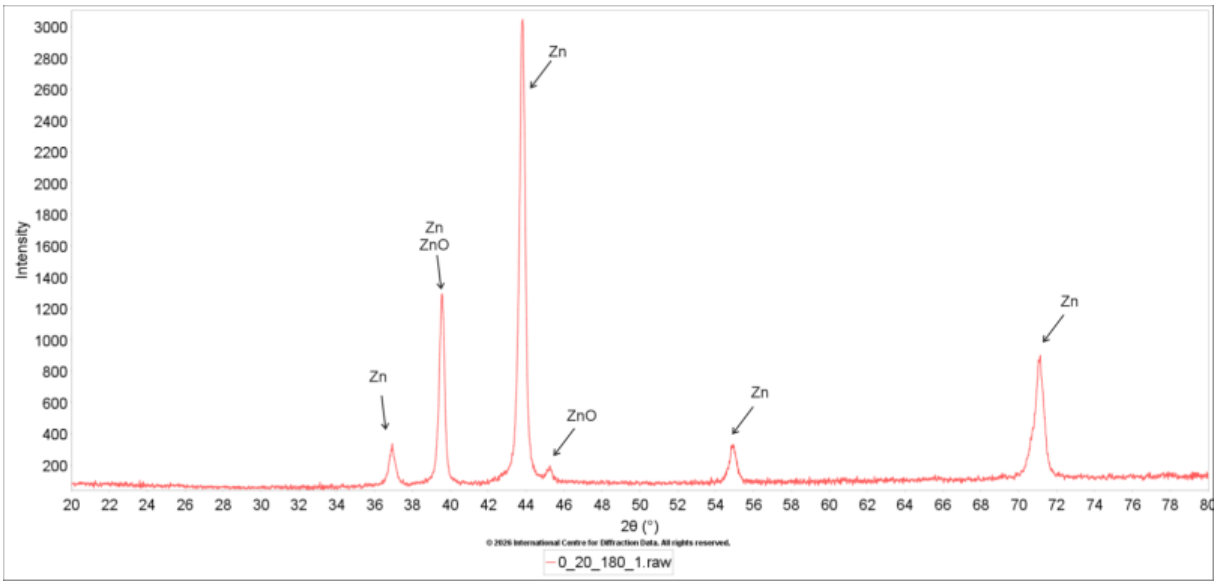
Rys. 26. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Nowa b”



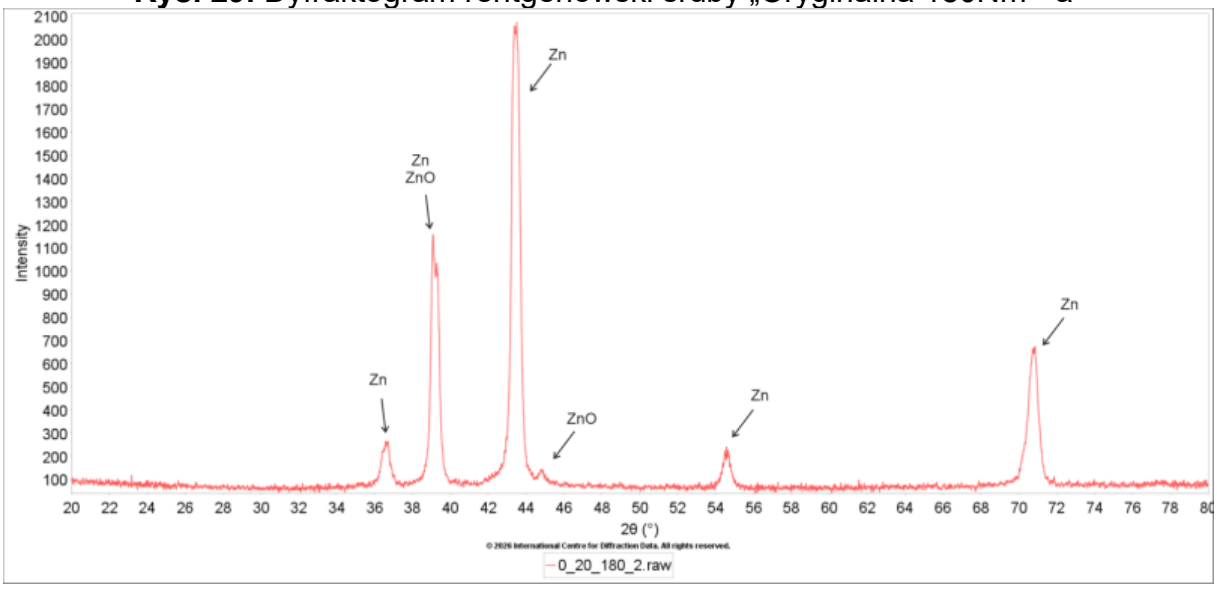
Rys. 27. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Oryginalna 120Nm - a”



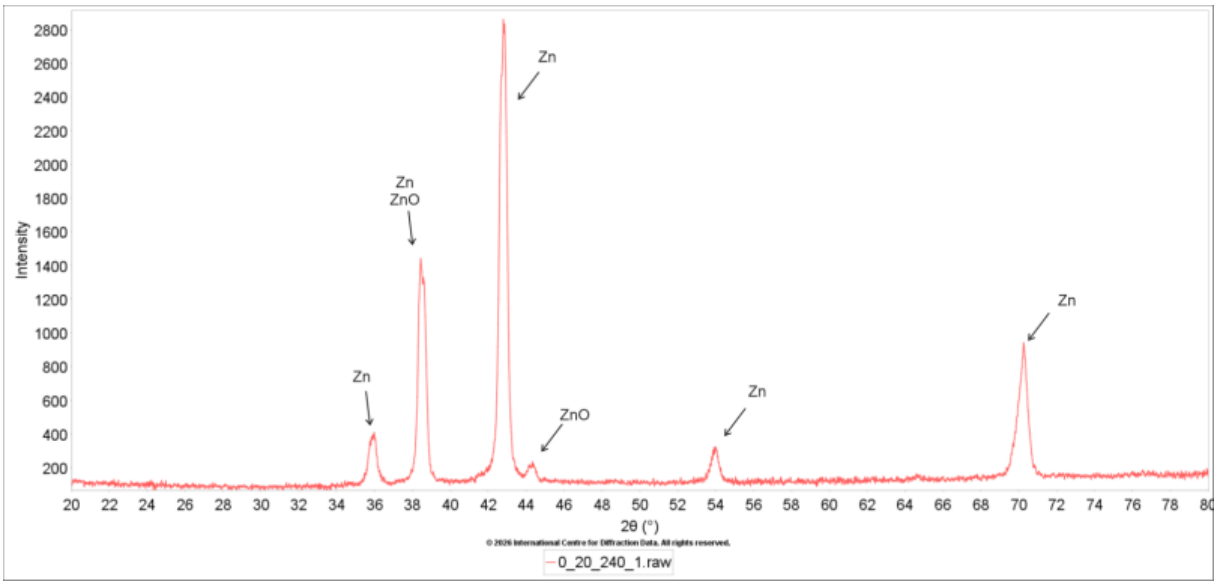
Rys. 28. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Oryginalna 120Nm - b”



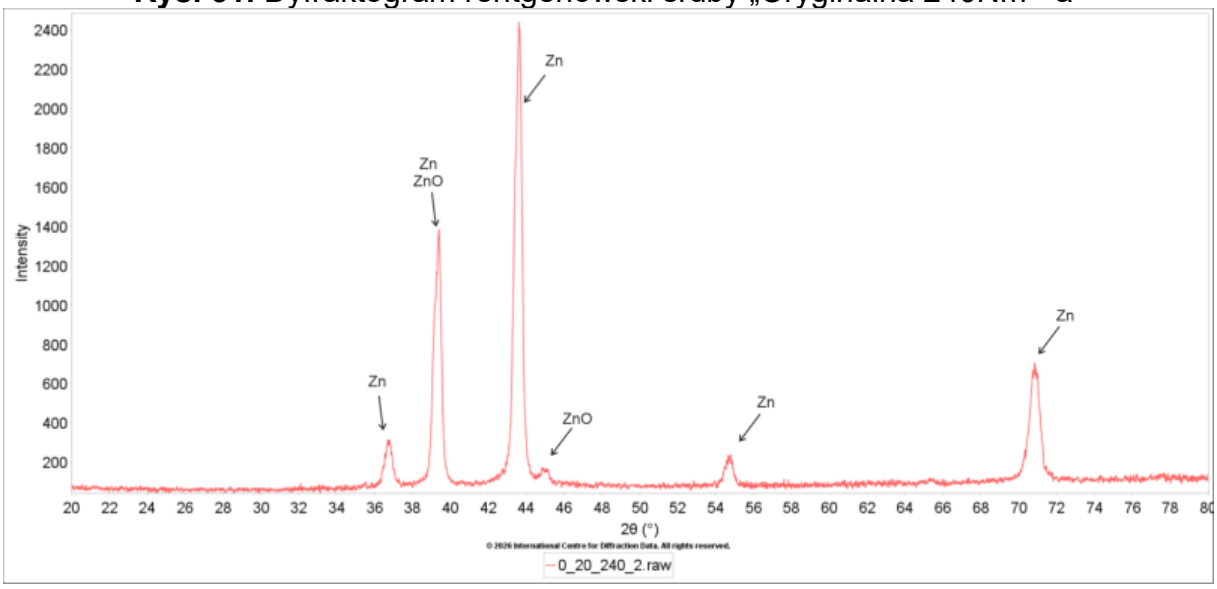
Rys. 29. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Oryginalna 180Nm - a”



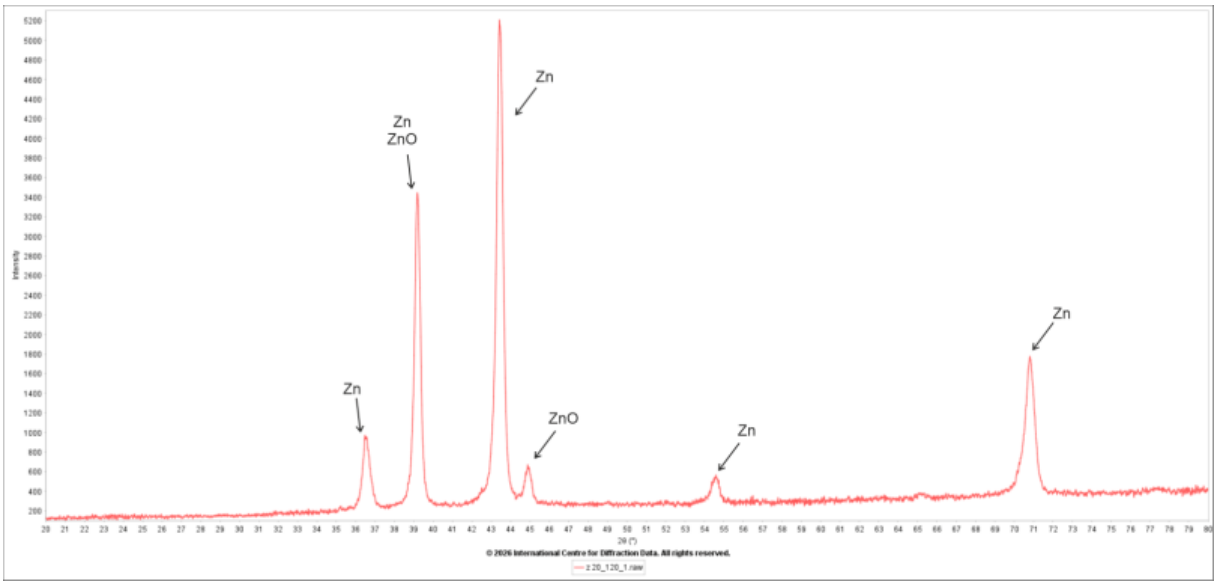
Rys. 30. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Oryginalna 180Nm - b”



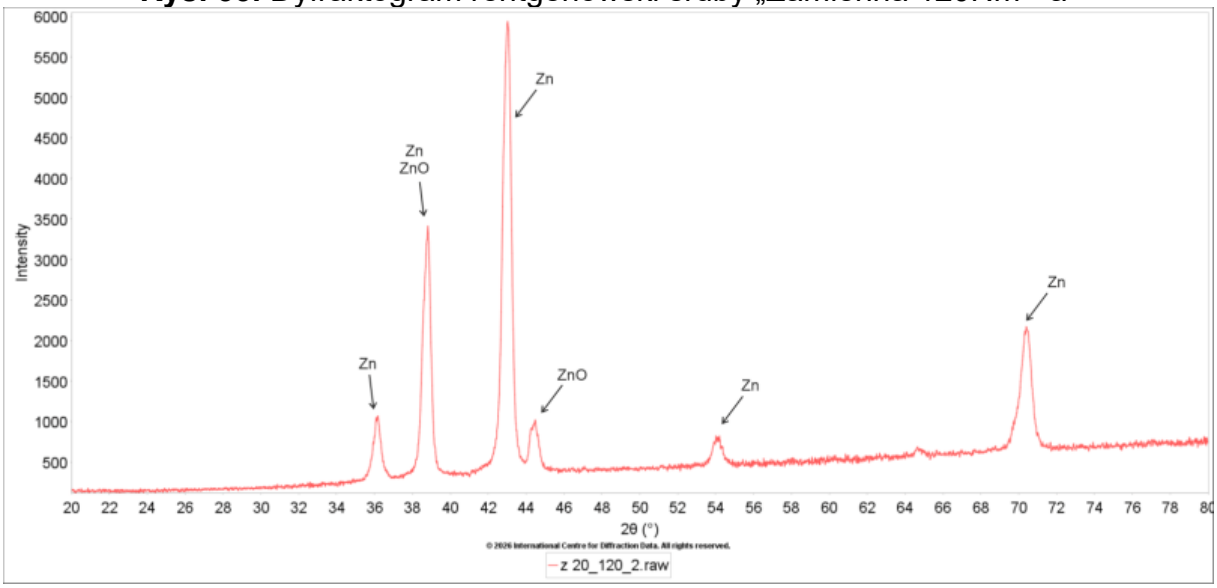
Rys. 31. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Oryginalna 240Nm - a”



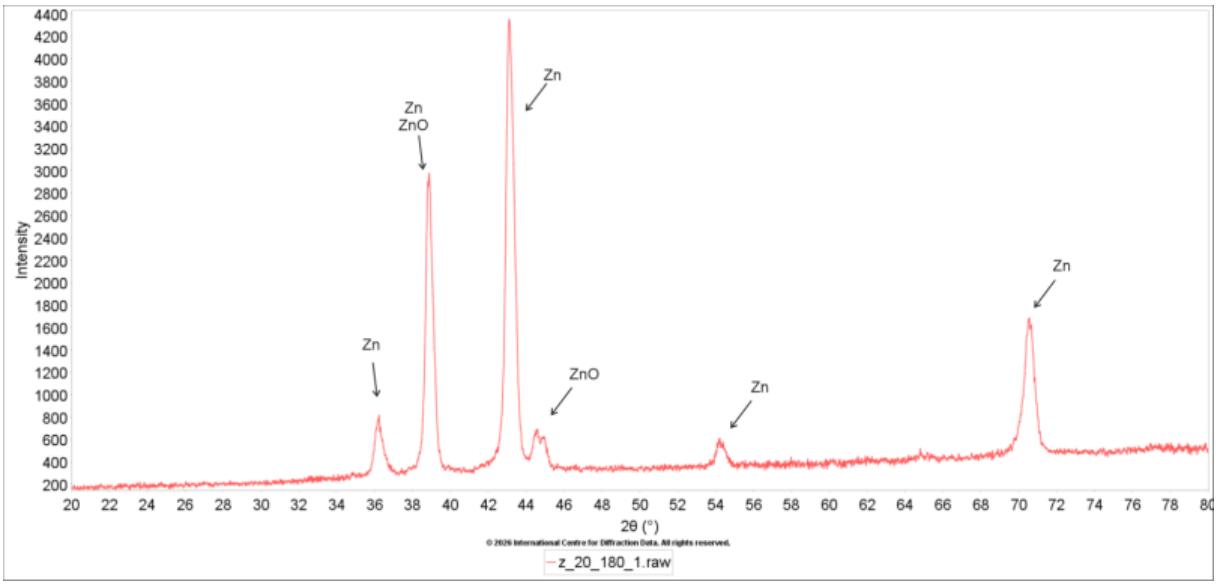
Rys. 32. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Oryginalna 240Nm - b”



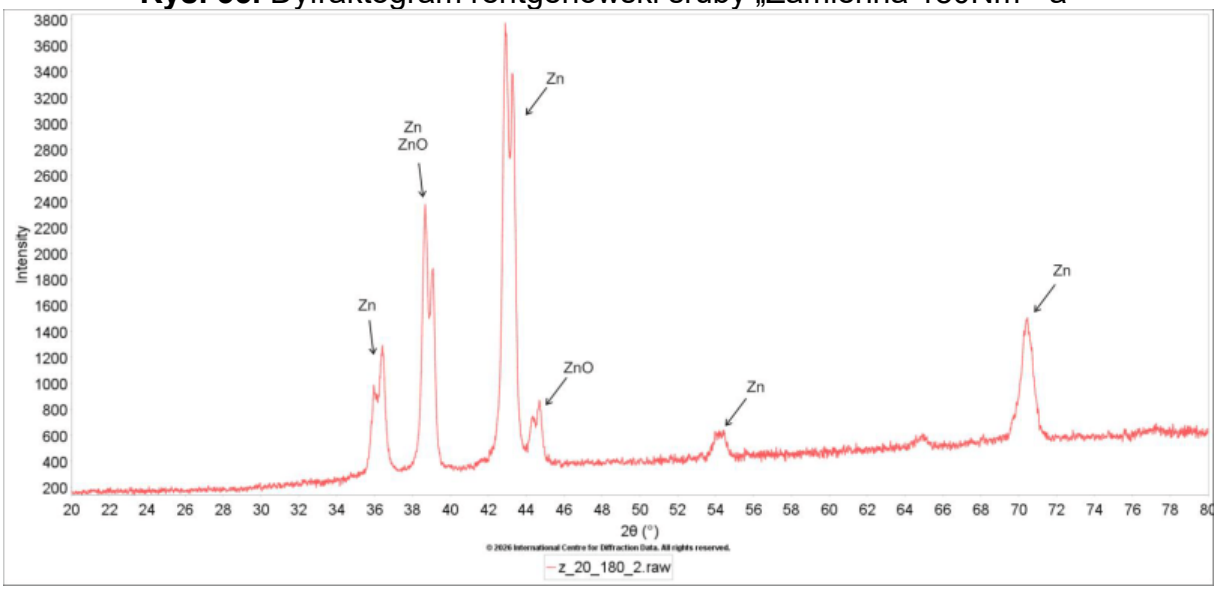
Rys. 33. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 120Nm - a”



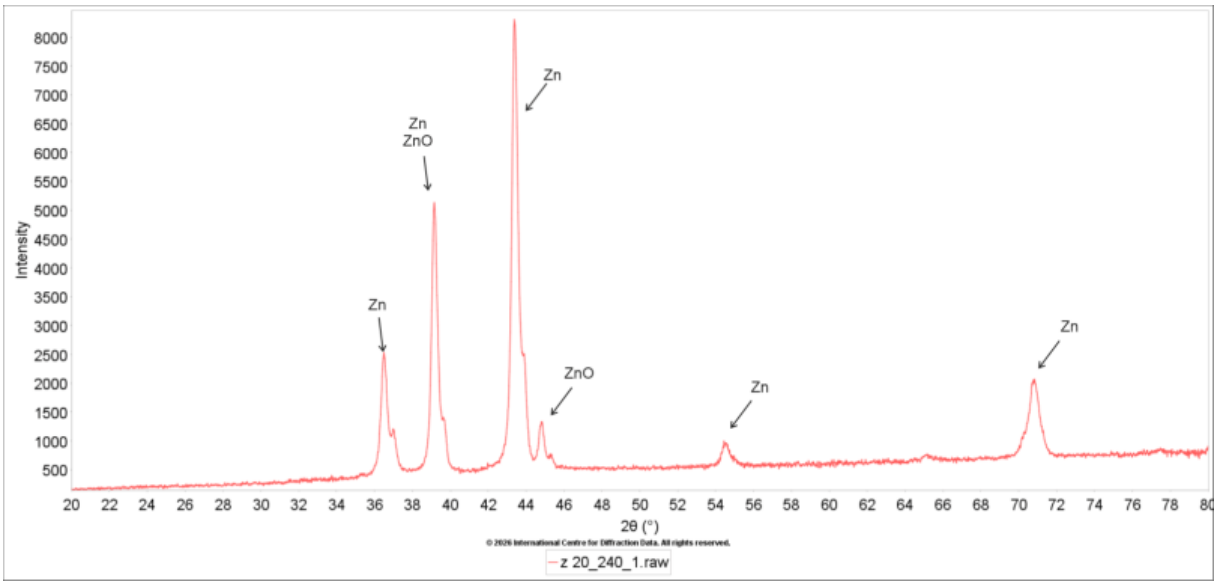
Rys. 34. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 120Nm - b”



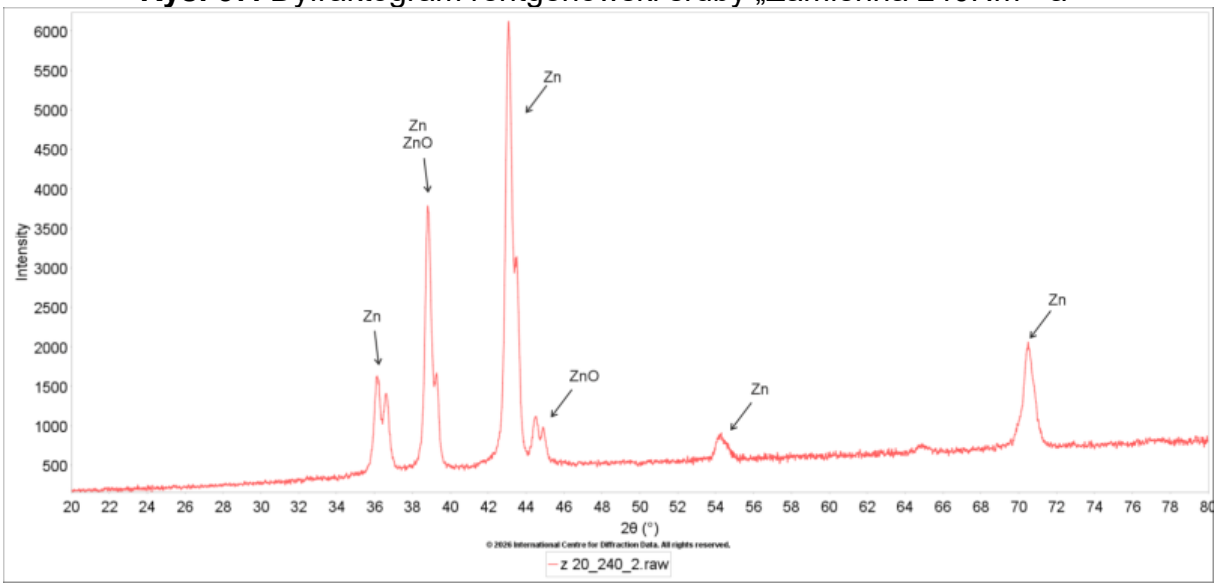
Rys. 35. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 180Nm - a”



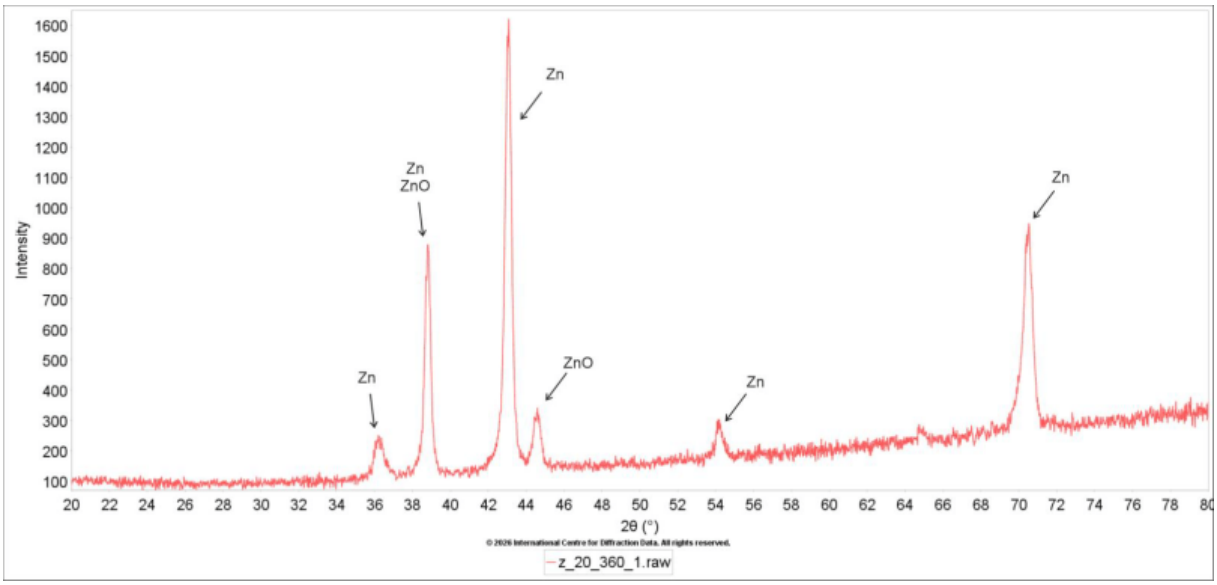
Rys. 36. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 180Nm - b”



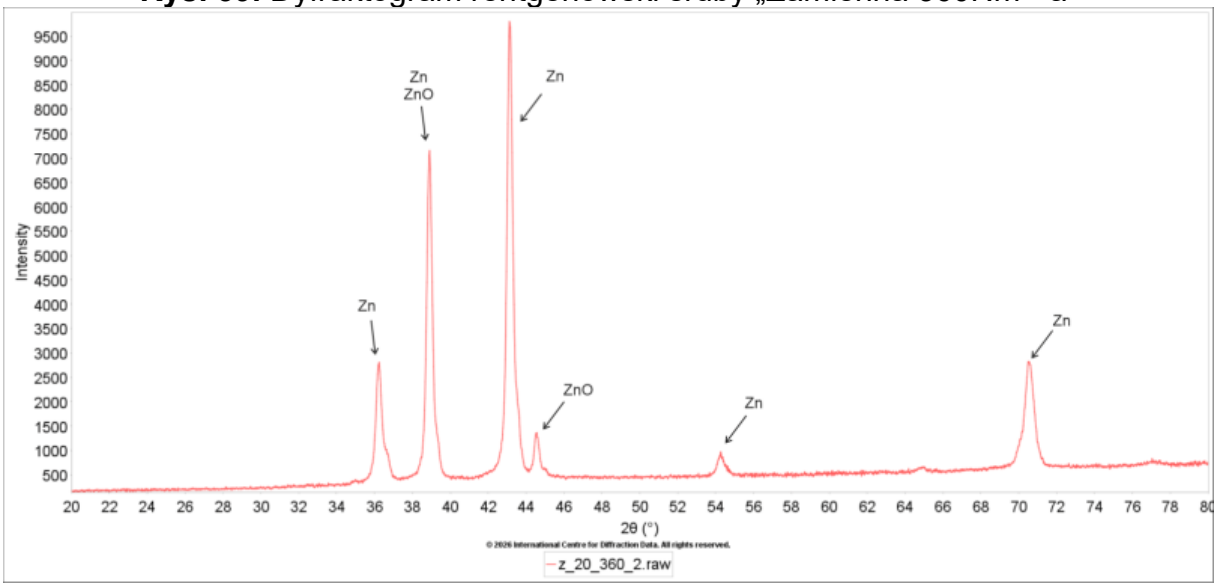
Rys. 37. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 240Nm - a”



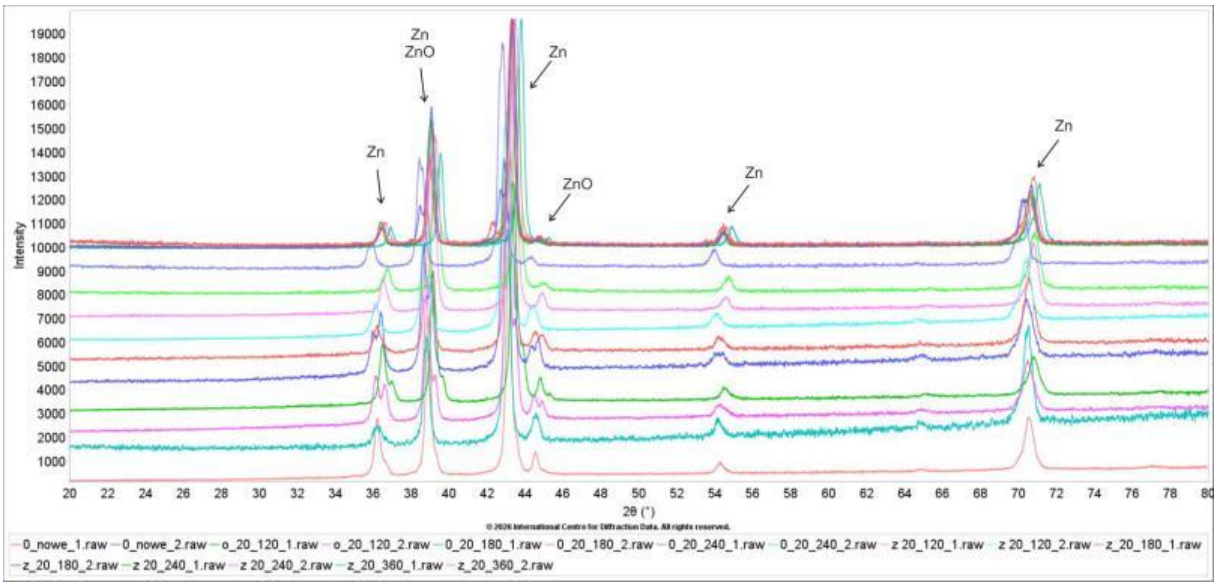
Rys. 38. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 240Nm - b”



Rys. 39. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 360Nm - a”

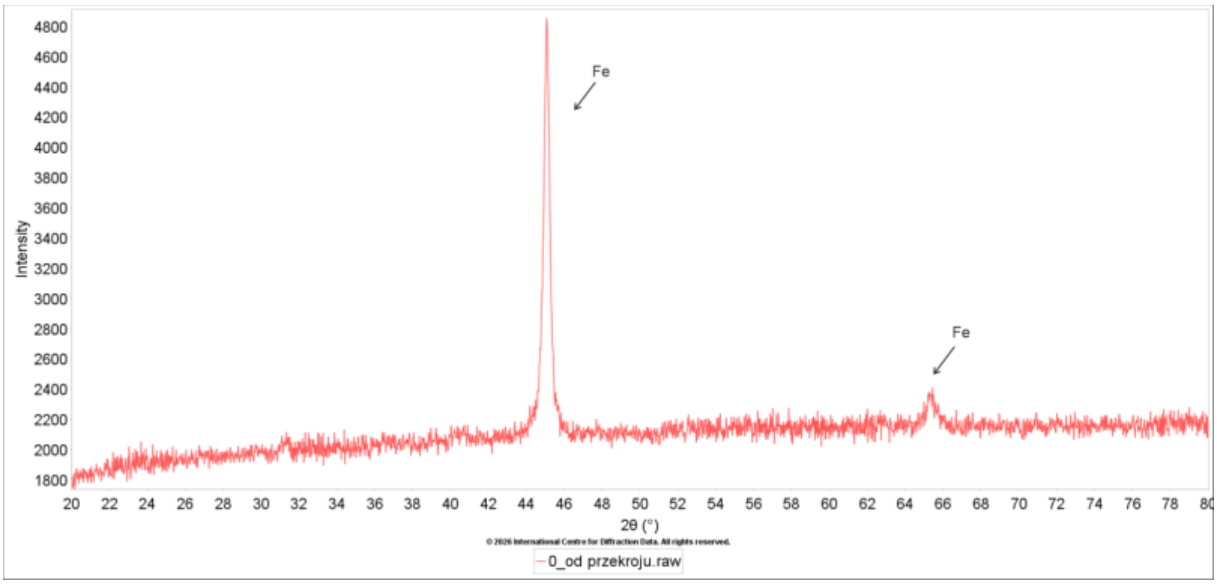


Rys. 40. Dyfraktogram rentgenowski śruby „Zamienna 360Nm - b”

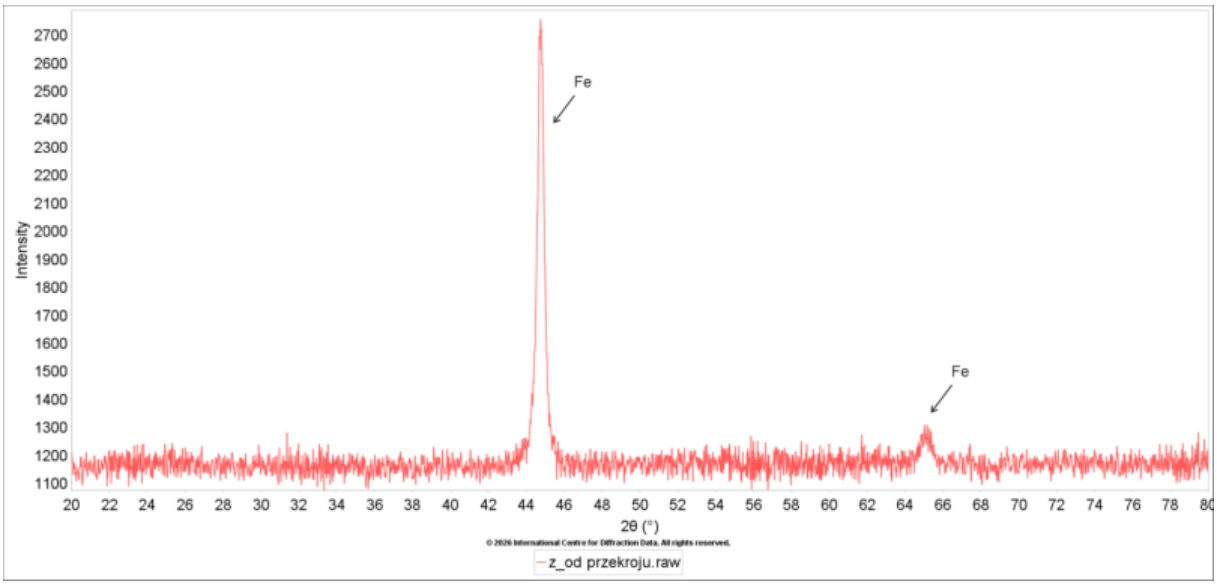


Rys. 41. Dyfraktogramy rentgenowskie z powierzchni śrub

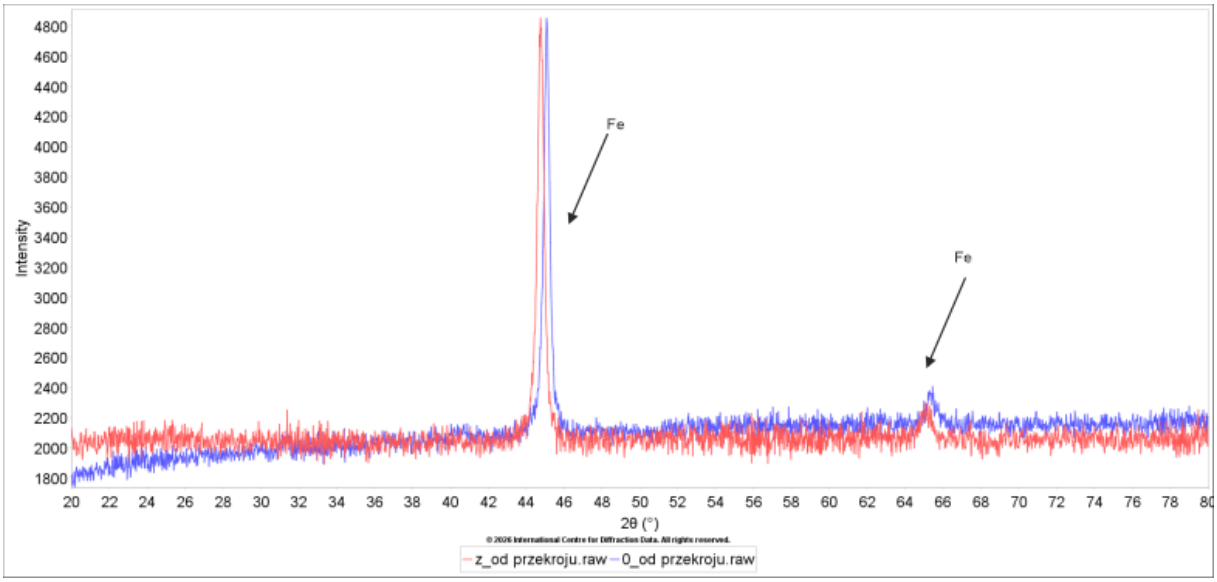
Wykonano także analizę na przekroju śruby oryginalnej (Nowa a) i zamiennej (Zamienna 180Nm –a). Ustalono, że w rdzeniu występują refleksy rentgenowskie od martenzytu (Fe) 04-007-9753, co jest typowe dla stalowej śruby po obróbce cieplnej (rys. 42-44).



Rys. 42. Dyfraktogram rentgenowski z przekroju poprzecznego śruby „Nowa a”



Rys. 43. Dyfraktogram rentgenowski z przekroju poprzecznego śruby „Zamienna 180Nm –a”



Rys. 44. Dyfraktogramy rentgenowskie z przekroju poprzecznego śrub

W podsumowaniu analizy jakościowej składu fazowego śrub nie stwierdzono różnicy w występowaniu składników fazowych mikrostruktury, zarówno na ich powierzchni jak i przekroju wewnątrz śruby.

4.5. Badania składu chemicznego metodą spektroskopii emisyjnej

Pomiary składu chemicznego prowadzono na przekroju śrub. Wykonano analizę dla 3 śrub oryginalnych i 3 zamiennych. Wyniki zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wyniki analizy składu chemicznego

Zawartość pierwiastków, %, mass.																	
Materiał/ śruba	**C**	**Si**	**S**	**P**	**Mn**	**Ni**	**Cr**	**Mo**	**V**	**Cu**	**W**	**Ti**	**Co**	**Al**	**Nb**	**Mg**	**Fe**
Nowa a	0,213	0,058	0,008	0,006	0,8803	0,027	0,172	0,009	0,005	0,028	0,003	0,023	0,004	0,032	0	0,004	Reszta
Nowa b	0,218	0,05	0,012	0,009	0,9458	0,019	0,17	0,005	0,005	0,018	0,003	0,029	0,003	0,031	0	0,004	Reszta
Oryginalna 180Nm – a	0,22	0,058	0,011	0,007	0,8922	0,016	0,171	0,004	0,005	0,011	0,004	0,03	0,004	0,037	0	0,004	Reszta
Zamienna 120Nm - a	0,291	0,191	0,005	0,005	0,917	0,075	0,2	0,014	0,005	0,165	0,004	0,038	0,009	0,029	0	0,004	Reszta
Zamienna 180Nm - a	0,304	0,193	0,005	0,005	0,9202	0,075	0,2	0,014	0,005	0,165	0,003	0,038	0,009	0,028	0	0,004	Reszta
Zamienna 360Nm - a	0,32	0,196	0,005	0,005	0,9337	0,076	0,2	0,014	0,005	0,169	0,005	0,04	0,009	0,028	0	0,004	Reszta

Stwierdzono przede wszystkim różnicę w zawartości węgla i krzemu pomiędzy śrubami oryginalnymi i zamiennymi. Różnica ta może wpływać na właściwości mechaniczne, ponieważ większa zawartość węgla w stali może sprzyjać uzyskaniu większej twardości i wytrzymałości, szczególnie po obróbce cieplnej. W konsekwencji materiał może być mniej podatny na trwałe odkształcenie plastyczne podczas dokręcania.

5. Podsumowanie

Na podstawie badań doświadczalnych:

- Po 20-krotnym odkręcaniu i dokręcaniu śrub oryginalnych i zamiennych momentem w zakresie od 120 do 240 Nm nie stwierdzono zmian w wyglądzie śrub oraz uszkodzenia piasty.

- Stwierdzono, że po przekroczeniu momentu krytycznego, właściwości śruby oryginalnej ulegają zmianie. Pod wpływem zbyt dużego momentu dokręcania śruba trwale się rozciąga (deformuje). Po odkręceniu nie wraca już do swojego pierwotnego kształtu. Śruba traci swoje pierwotne właściwości fizyczne i nie nadaje się do dalszego użytkowania i powinna zostać wymieniona. W trakcie badań zaobserwowano nadmierne rozciągnięcie śrub oryginalnych od 0,76 do 1,63 mm.

- Moment krytyczny dla śrub oryginalnych wynosił 264,4–270 Nm, a następnie zaobserwowano ich trwałe rozciągnięcie. Dokonano weryfikacji piasty oraz wykonano ponowne próby wkręcenia nowej nieuszkodzonej śruby, na tej podstawie nie stwierdzono uszkodzenia piasty.

- W przypadku śrub zamiennych stwierdzono, że przekroczenie poziomu momentu krytycznego dokręcania wpływa na właściwości śrub i powoduje ich deformacje. Przeprowadzono próbę polegającą na zastosowaniu nadmiernego momentu dokręcania dla pięciu śrub zamiennych. Dla momentu dokręcenia:
  1) 441,4 Nm – doszło do zerwania śruby,
  2) 481,7 Nm – doszło do zerwania śruby,

Headquarters
TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG
Am TÜV 1
30519 Hannover
Germany
Phone: +49 511 998-62526
Fax: +49 511 998-61747
hannover@tuev-nord.de
www.tuev-nord.com

Chairman of the Supervisory Board
Dr. rer. nat. Dirk Stenkamp

Registration Office
Amtsgericht Hannover
HRA 27006
VAT No.: DE 813818604
Tax No.: 25/207/00992

General Partner
TÜV NORD Mobilität
Verwaltungsgesellschaft mbH, Hannover

Registration Office
Amtsgericht Hannover
HRB 61319

Hartmut Abeln, CEO
Thorsten Walinger, COO

Deutsche Postbank AG, Hannover
BIC (SWIFT-Code): PBNKDEFFXXX
IBAN-Code: DE 63 2501 0030 0608 9023 01

Deutsche Bank AG, Hannover
BIC (SWIFT-Code): DEUTDE2HXXX
IBAN-Code: DE 72 2507 0070 0060 0338 00

Commerzbank AG, Essen
BIC (SWIFT-Code): DRESDEFF360
IBAN-Code: DE 59 3608 0080 0525 9435 00

TÜV NORD GROUP

3) 506 Nm – doszło do zapieczenia trzonka śruby w piaście, co skutkowało brakiem możliwości jego wykręcenia, zaobserwowano wyrwanie materiału zwoju gwintu wewnętrznego piasty,
4) 455,3 Nm – doszło do uszkodzenia gwintu śruby oraz gwintu piasty, śruba rozciągnęła się o 0,22 mm względem długości śruby wzorcowej,
5) 437,9 Nm – doszło do uszkodzenia gwintu śruby oraz gwintu piasty, śruba rozciągnęła się o 0,27 mm względem długości śruby wzorcowej,

- Nie stwierdzono różnic w analizie składu fazowego śrub oryginalnych i zamiennych metodą dyfrakcji rentgenowskiej.

- Na podstawie przeprowadzonej analizy składu chemicznego stwierdzono wyraźne różnice pomiędzy materiałem śrub oryginalnych i zamiennych. Największe różnice dotyczą zawartości węgla i krzemu. Śruby oryginalne zawierają około 0,21–0,22% C i 0,05–0,06% Si, natomiast śruby zamienne około 0,29–0,32% C i 0,19–0,20% Si. Stąd można przyjąć, że różnią się gatunkiem stali.

- Badania pozwalają na stwierdzenie, że w przypadku śrub oryginalnych przy momentach krytycznych 264,4-270 Nm nie stwierdzono uszkodzenia piasty. W przypadku śrub zamiennych przy momentach krytycznych 437,9-506 Nm doszło do uszkodzenia piasty.

- W celu zapewnienia bezpieczeństwa eksploatacji należy bezwzględnie przestrzegać momentu dokręcania właściwego dla danego pojazdu. Zalecane jest stosowanie skalibrowanego klucza dynamometrycznego, który pozwala na ustalenie i zastosowanie prawidłowego momentu dokręcania.

dr hab. inż. Paweł Woś
Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza

dr inż. Kamil Gancarczyk
Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza

dr inż. Krzysztof Lew
Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza

mgr inż. Marek Nytko
Biuro Rzeczoznawcze Auto-Test